

Objekttyp: **AssociationNews**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **104 (1986)**

Heft 43

PDF erstellt am: **30.06.2024**

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

### **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*  
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, [www.library.ethz.ch](http://www.library.ethz.ch)

<http://www.e-periodica.ch>

## SIA Energiepreis: Die prämierten Objekte

Bei den folgenden Beiträgen auf den Seiten 1072 bis 1085 handelt es sich um die drei 1986 prämierten Objekte, welche nun hier durch die Projektverfasser dargestellt werden. Zum SIA-Energiepreis 1986 siehe auch *SI+A* Heft 27-28/86 (S. 692). (Red.)

# Einfamilienhaus in Urnäsch

Von Ueli Schäfer, Binz

Das Haus in Urnäsch baut auf den Erfahrungen mit den Häusern in Lengnau, Gonten, Rothenthal, Oberglatt und Grüningen auf. Es hat ebenfalls ein Sonnenwärme-System, das die gespeicherte Wärme passiv über den massiven Boden an die Wohnräume abgibt. Der Kollektor ist wie in Gonten und Oberglatt in die Südfassade integriert.

Das Haus verbrauchte trotz dem aussergewöhnlich kalten Winter 1984/85 nach den Angaben der Bewohner knapp 4 Ster Holz. Die Lamellenstore im Fensterkollektor wurde bei schönem Wetter ziemlich regelmässig bedient, da der Lichteinfall, gerade bei tiefstehender Sonne und schneebedecktem Vorgelände sehr stark ist. Der Speicher erreichte an einem Messpunkt direkt unter der oberen Isolationsschicht und in der Mitte zwischen Zu- und Abluftkanal maximale Temperaturen von 45-47°C. Die Innentemperaturen betragen im Mittel etwa 19°C in den Wohnräumen und 17-18°C in den Schlaf- und Arbeitsräumen. Überheizung wurde kaum festgestellt. Das Haus wurde von den eher kälteempfindlichen Bewohnern und von gelegentlichen Besuchern als ausgesprochen warm und hell empfunden.

### Einleitung

Auch ein Sonnenenergie-Haus ist zunächst nichts anderes als ein Haus zum Wohnen, geprägt von individuellen Bedürfnissen, Wünschen, Vorstellungen. Bauliche Thematiken treten zu diesen primären Bedürfnissen hinzu. Hier sind es Energiesysteme, manchmal sind es architektonische Prinzipien, konstruktive Vorlieben, – die Tessiner Schule oder die Betonhäuser der sechziger Jahre sind Beispiele dafür. Bauliche Thematiken können Form und Inhalt eines Hauses stark bestimmen, besonders dann, wenn das Anliegen neu und erst wenig domestiziert ist, aber sie sollten nicht an die Stelle der Wohnbedürfnisse treten.

In diesem Sinne ist ein Energiepreis zweischneidig. Er lenkt ab von der Grundfrage, ob sich die Bewohner wohlfühlen, ob es auch ihr Haus ist und nicht nur das des Architekten. Es ist nicht an mir, zu entscheiden, ob hier die Domestikation der angewandten technischen Mittel gelungen ist, aber es ist mir ein Anliegen festzuhalten, dass bauliche Thematiken ohne diese Domestikation sinnlos sind und ihr Ziel verfehlen.

### Hintergrund

Das Haus möchte in der Tradition der modernen, funktionalistischen Denkweise stehen. Es knüpft an den Leit-

spruch «Licht, Luft und Sonne» an, an Arbeiten von Keck, Olgay und anderen, aber auch an Vorbilder der passiven Sonnenenergie-Nutzung, wie sie zuerst in den USA entwickelt wurden. Es deutet an, dass so, wie die statischen Eigenschaften des Baumaterials thematisiert wurden, sich architektonisch ausdrückten, um dann wieder der Gesamtstruktur untergeordnet zu werden, auch seine thermischen Funktionen thematisiert und formbildend verwendet werden können.

Das Haus ist das vorläufige Ergebnis einer Reihe von Häusern und Projekten. Die relative Klarheit und Einfachheit der technischen Mittel ist nicht denkbar ohne diese vorgängigen Erfahrungen und ohne die Messkampagne an vier der früheren Häuser, die mit Hilfe des Instituts für Hochbautechnik der ETH und Unterstützung des NEFF durchgeführt werden konnte. Trifft so ein Preis auch nur ein Haus, einen Bauherrn und den Architekten, so soll der grosse Beitrag der anderen doch nicht unerwähnt bleiben.

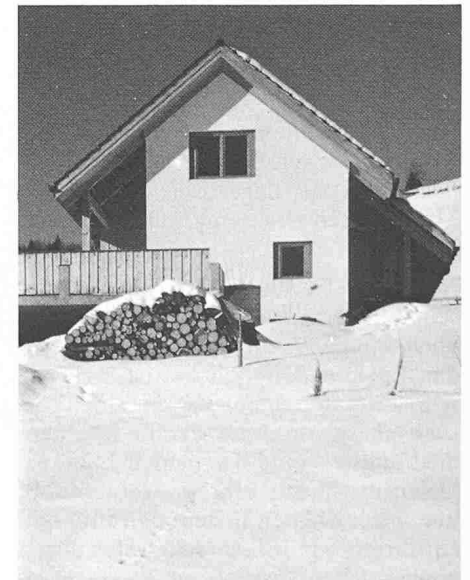
### Das Haus

Der Plan gruppiert individuelle Aufenthalts- und Gebrauchsräume schalenartig um einen gemeinsamen Wohn- und Arbeitsraum, der seinerseits an den wärmespeichernden Gebäudesockel anschliesst. Nach Süden, zur Sonne, ist die Zweischaligkeit unterbrochen bzw. auf den schmalen Wärmeauffang- und -umwandlungsbereich in Fensterhöhe reduziert. Die Wärme strömt, durch Betondecke und Plattenboden über der Speicherisolation gegen die Temperaturschwankungen im Tagesverlauf abgepuffert, aus dem Speicher in den

Bild 1. Das Haus in der Landschaft, Südansicht mit Fensterkollektor und Giebellukarnen der Kinderzimmer



Bild 2. Ostansicht mit Terrasse über Abstellplätzen



Wohnbereich und von dort in die Individualräume. In der Übergangszeit, wenn das Haus ganz mit Sonne geheizt wird, entsteht so ein kleiner Temperaturabfall zwischen diesen beiden Zonen, der aber durch die geringere Temperaturdifferenz nach Aussen und entsprechend höhere innere Oberflächentemperaturen gemildert wird. In der eigentlichen Heizperiode von Ende November bis Anfang März sorgt die vom gemauerten Holzofen ausgehende Schwerkraft-Zentralheizung für eine gleichmässige und kontrollierbare Verteilung.

In der Längsachse passt sich das Haus dem leicht abfallenden Baugrund an. Unter der Terrasse befinden sich zwei Autoabstellplätze und der Hauseingang. Nach Süden bildet die Umgebung eine von kleinen Hügeln mit Bäumen umstandene Mulde, an deren tiefstem Punkt ganz von selber ein kleiner Teich entstand. So sind der untere Teil des Kollektors, der im Gegensatz zu den darüber befindlichen Fenstern nur den Himmel zu sehen braucht, und die Ruhe und Sonne suchenden Gartenbenützer vor Einblicken geschützt.

### Wärmevorgänge

Grundlegend ist die Vorstellung, dass das Ganze richtig ist, wenn die Teile richtig sind. Im Gegensatz zur Statik wirken in der Thermik die einzelnen Bauteile zusammen, wenn wir sie nicht durch besondere Massnahmen voneinander trennen. Unsere Aufgabe ist es also nicht, sie miteinander zu verbinden, da sie dies ja schon sind, sondern sie, durchaus als einzelne Teile, mit eigenen Eigenschaften und Steuermechanismen, in richtige Beziehung zueinander zu setzen. Stimmen die Grössenordnungen der Widerstände, der Speichermassen und der Wärmeauffang- und -abgabeflächen mit unse-

ren Absichten überein, so entstehen, bei Sonnenschein beispielsweise, auch die gewünschten Wärmeströme, Raum- und Massentemperaturen, ohne dass wir dies mit zusätzlichen Massnahmen herbeiführen müssen.

### Wärmebewahrung

Die Wärmeisolation hat auch in einem Sonnenenergie-Haus die Priorität. Sie hindert die unregelmässig einfallende Strahlungswärme am Abfliessen und bewirkt mit dem grossen Widerstand an der Gebäudeperipherie, dass an den kleinen Widerständen im Inneren Temperaturdifferenzen entstehen, die innerhalb der Behaglichkeitsgrenzen bleiben.

Gegenüber den im Messprojekt untersuchten Beispielen wurde die Isolation der Gebäudehülle verstärkt und die Berührungsfäche zwischen Gebäude und Fundament bzw. Tragstruktur und Wetterschicht auf das statisch notwendige Minimum beschränkt. Isoliert wurde mit 20 cm Polystyrol im Bereich des Wärmespeichers, mit 12,5 cm Polystyrol an über den Speicher hinausragenden Fundamentplatten und massiven Aussenwänden, mit 16 cm Glaswolle an leichten Aussenwänden und 20 cm Glaswolle im Dach. Der Fensterkollektor ist vierfach verglast und hat die Lamellenstore mit einseitig blanker Aluminiumfläche als zusätzliche Isolation. Die übrigen Fenster sind zweifach verglast und mit inneren Isolierläden versehen.

Der Wärmeleistungsbedarf wurde nicht gemessen. Er dürfte, in Anlehnung an die Ergebnisse des Messprojektes  $0,025-0,03 \text{ W}/^\circ\text{Cm}^2\text{EBF}$  betragen. Die Luftdurchlässigkeit wurde im Rahmen eines Messprojektes der EMPA an 34 Häusern geprüft. Für einen künstlich erzeugten Unterdruck von 50 Pa (5 mm Wassersäule) wurde ein Luftwechsel von 4-4,5 pro Stunde festgestellt. Dies

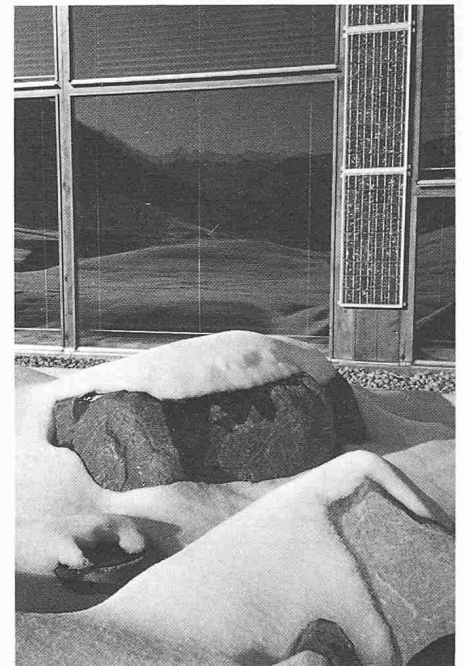


Bild 3. Detail des Fassadenkollektors mit den Sonnenzellen des Gleichstrom-Ventilators

war schlechter als wir, bei recht sorgfältig verlegten Winddichtungen, aber ohne Fugen abzukitten, geglaubt hatten, aber offenbar doch nicht so leicht zu erreichen, da nur in drei der untersuchten Häuser bessere Werte gemessen wurden.

### Wärmegewinnung

Jedes Haus gewinnt Wärme von der darauf auftreffenden und durch die Fenster hineinscheinenden Strahlung, der im Inneren befindlichen Personen mit ihrer Eigenwärmeabgabe und ihrem Bedarf an Licht, Prozesswärme und Gebrauchswarmwasser. Je besser das Haus gegen Wärmeverluste geschützt ist, desto grösser ist der Anteil dieser «freien Wärme» an der Gesamtwärmebilanz. Das wirklich energiesparende Sonnenenergie-Haus kämpft so gleichsam an zwei Fronten: Es versucht

Bild 4. Fensterbereich, vom Essplatz

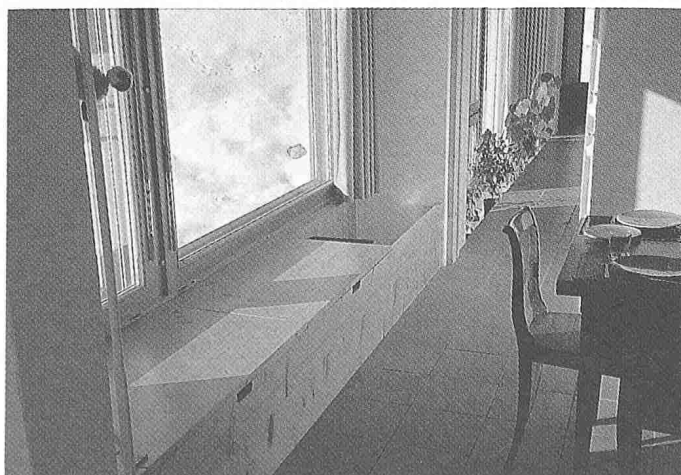
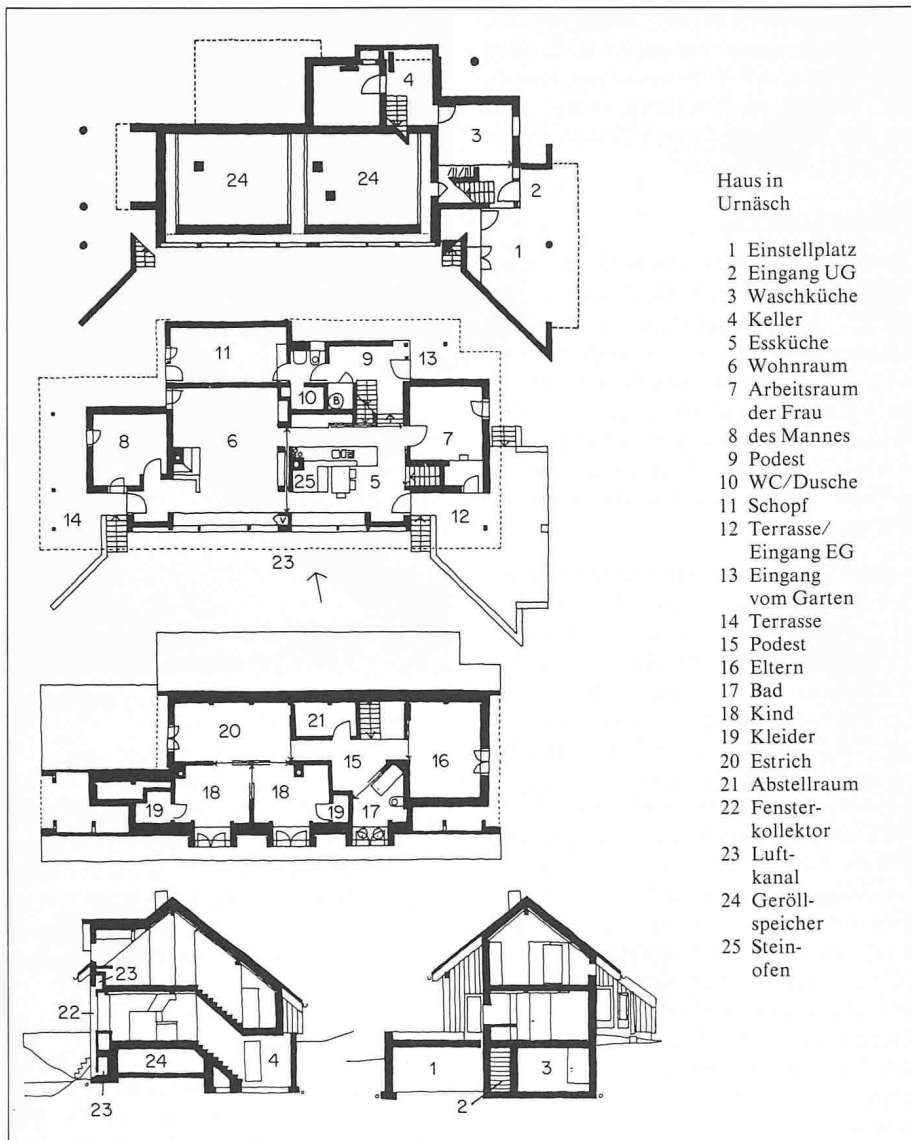


Bild 5. und Wohnraum gesehen



Haus in  
Urnäsch

- 1 Einstellplatz
- 2 Eingang UG
- 3 Waschküche
- 4 Keller
- 5 Essküche
- 6 Wohnraum
- 7 Arbeitsraum der Frau
- 8 des Mannes
- 9 Podest
- 10 WC/Dusche
- 11 Schopf
- 12 Terrasse/Eingang EG
- 13 Eingang vom Garten
- 14 Terrasse
- 15 Podest
- 16 Eltern
- 17 Bad
- 18 Kind
- 19 Kleider
- 20 Estrich
- 21 Abstellraum
- 22 Fensterkollektor
- 23 Luftkanal
- 24 Geröllspeicher
- 25 Steinofen

gleichzeitig, den Strahlungswärmege-  
winn zu vergrössern und den Fremd-  
energie-Anteil der inneren Wärmequel-  
len zu reduzieren.

Der Fensterkollektor, dessen Lamellen-  
store als Kollektor, Schattierung und  
Nachtisolation dient, ist in dieser Hin-  
sicht ein guter Kompromiss. Er erlaubt,  
die Fläche durch die das Tageslicht ein-  
dringt, zu vergrössern, so dass die Räu-  
me allgemein heller werden und länger  
auf die künstliche Beleuchtung verzich-  
tet werden kann. Er ermöglicht aber  
auch, die überschüssige Wärme nutz-  
bringend abzuführen und zu speichern,  
so dass die Nachteile grosser Fensterflä-  
chen – Überheizung und grössere Wär-  
meverluste – gemildert oder ganz aufge-  
hoben werden.

In Urnäsch – und gleichzeitig in einem  
Anbau in Uitikon – wurden erstmals  
einseitig schwarze, allerdings noch  
glänzende, und rückseitig blanke Lam-  
ellen verwendet. Die zwischen zwei  
Isolierverglasungen an den schwarzen  
Lamellen erwärmte Luft steigt auf zu  
einem Sammelkanal. Sie wird dort mit

dem mit Sonnenzellen direkt analog  
der Strahlungsstärke angetriebenen  
Gleichstrom-Ventilator in den Geröll-  
wärmespeicher eingeblasen, wo sie ihre  
Wärme abgibt und danach zum Kolle-  
ktor zurückkehrt.

### Wärmespeicherung

Wer schon einmal an einem sonnigen  
Februartag inmitten tief eingepackter  
Leute hemdärmlich skifahren konnte,  
kennt die Tatsache, dass bei kalter Luft  
und starker Strahlung alle Isolations-  
grade behaglich sind. Behaglichkeit ist  
dann keine Qualität, sondern Unbehag-  
lichkeit ein Mangel. So ist auch das  
Sonnenenergie-Haus, das beim schönen  
Wetter angenehm ist, noch keine Lei-  
stung. Es hat diese Qualität mit jedem  
richtig orientierten Haus gemeinsam  
und unterscheidet sich erst von diesem,  
wenn es nachts und nach mehreren  
Schlechtwettertagen noch immer beh-  
aglich ist.

Der Unterschied liegt bei der richtig an-  
gebrachten und dimensionierten Wär-  
mespeicherung. Der Steinspeicher, wie

er auch im Haus in Urnäsch verwendet  
wurde, hat vielleicht noch nicht die  
wünschbare Eleganz. Aber er ist mit  
den jetzigen Mitteln baubar und funk-  
tioniert. Die Luftkanäle sind bekriech-  
bar, so dass sie kontrolliert werden kön-  
nen. Die Lebensdauer der verwendeten  
Materialien, Beton, extrudiertes Poly-  
styrol, Rundkies 30/50, liegend ver-  
mauerte Backsteine, durch welche ein-  
geblasen wird, und Kork als Isolation  
sowie verlorene Schalung gegen den da-  
von getrennten Betonboden, ist so, dass  
ihre Anwendung im Fundationsbereich  
verantwortbar ist. Die kompaktere  
Form, verbesserte Isolation und geziel-  
tere Behandlung der statisch notwendi-  
gen Wärmebrücken ergibt max.  
Speichertemperaturen bei 45-47°C.  
Durch das grössere Gefälle zum Raum  
wird der nutzbare Temperaturbereich  
und damit das Speichervolumen grö-  
sser. Die abfliessenden Wärmeströme  
sind kontrollierbarer, da ihnen ein  
grösserer Widerstand entgegengesetzt  
werden kann.

Bei einem Fensterkollektor kann die  
Sonneneinstrahlung in die Wohnräume  
gut kontrolliert werden. Ob hier die  
eingebaute schwere Sekundärspeicher-  
masse in der Form massiver Wände  
notwendig ist, ist nicht sicher. Das Bei-  
spiel des Hauses in Rothenfluh zeigt je-  
denfalls, dass auch ein relativ leichtes  
Haus über einem Massenspeicher funk-  
tionieren kann, wenn der direkte Strah-  
lungsgewinn nicht zu gross ist.

### Zusatzheizung

In einem stark isolierten Haus mit gros-  
ser innerer Trägheit erhält die Heizung  
eine andere Bedeutung. Sie dient nicht  
mehr dazu, ein Luftvolumen nachzu-  
heizen bzw. das Temperaturgefuge ver-  
schiedener Strahlungsflächen zu beein-  
flussen, sondern ist vor allem dazu da,  
das langsam, aber doch stetig wachsen-  
de Wärmedefizit sporadisch zu erset-  
zen. Der Zeitpunkt der Abgabe ist un-  
wichtig. Er richtet sich genau so gut  
nach den gefühlsmässigen Bedürfnis-  
sen der Bewohner wie nach einer will-  
kürlich festgesetzten Thermostaten-  
Temperatur.

Das Konzept der Holzzentralheizung  
aus dem Kachel- oder Steinofen im  
thermischen Zentrum des Hauses, das  
in den anderen Häusern befriedigend  
funktioniert, wurde für Urnäsch über-  
nommen und an zwei Punkten verbes-  
sert. Das Heizwasser wird mit Schwerk-  
kraft umgewälzt, so dass das Pum-  
pengeräusch und die Notwendigkeit,  
bei Stromausfall das Feuer zu ersticken  
oder auszuräumen, entfallen. Die Was-  
sertaschen sind ganz ausserhalb des  
Feuerraums untergebracht, so dass der  
Ofen auch zum Backen verwendet wer-  
den kann.



## Brauchwassererwärmung

In den Häusern in Rothenfluh und Oberglatt wurde das Aggregat des Wärmepumpenboilers im Luftsystem der Sonnenenergie-Anlage eingebaut, um allenfalls in das System eindringende Luftfeuchtigkeit auskondensieren zu können. Hier wurde das Aggregat mit dem Ziel der Rückgewinnung abfließender Heizenergie im Keller aufgestellt. Kondensaterscheinungen im Kollektor im ersten Winter, die offenbar auf Baufeuchtigkeit zurückzuführen waren, liessen an der Richtigkeit der Entscheidung zweifeln. Inzwischen sind sie aber abgeklungen, und der Naturkeller ist verblüffend kühl.

		Gonten	Oberglatt	Rothenfluh	Urnäsch
Projekt		1977-78	1980-81	1978-79	1982-83
Bau		1978-79	1981-82	1979-80	1983-84
SIA	m <sup>3</sup>	1295	784	850	1150
Preis	Fr./m <sup>3</sup>	364.-	380.-	350.-	475.-
davon: Anteil SE	Fr./m <sup>3</sup>	40.-	45.-	30.-	50.-
beheizte Fläche	m <sup>2</sup>	190	140	140	180
beheiztes Volumen	m <sup>3</sup>	530	380	430	460
Bewohner		5	3	2	4
konvektiver Gewinn:					
Koll. Fläche, netto	m <sup>2</sup>	37.1	28.6	45	42
Speicherinhalt	kWh/°C	29	10.7	13	17.8
direkter Gewinn:					
Südfenster, netto	m <sup>2</sup>	14.3	1	7	4
Ost/Westfenster	m <sup>2</sup>	10	5	14	7
Primärspeichermasse	kWh/m <sup>2</sup> °C	7	8.6	10.1	8.7
Sekundärspeichermasse	kWh/m <sup>2</sup> °C	10.5	6.5	4	23.2

Tabelle 1. Gebäudedaten

Tabelle 2. Heizperiode (p) 1982-83 (1984-85 in Urnäsch)

(die Werte für Urnäsch sind ausgehend vom Energieverbrauch geschätzt, um einen Vergleich zu erhalten)

		Gonten	Oberglatt	Rothenfluh	Urnäsch
Energiebezugsfläche		220	160	152	212
E-Heizung	Mj/m <sup>2</sup> a	154	210	235	138
E-Jahr	Mj/m <sup>2</sup> a	264	343	337	228
Höhe ü.M.	m	900	430	500	860
HGT (eff. RT/AT)	°C	3688	2868	2917	4032
Mittl. Temp. Wohnr.	°C	19.3	19	19.2	19
Mittl. Temp. Haus	°C	18.9	18.3	18.6	18.5
Wärmeleistungsbedarf					
AT-abhängig	kWh/°C dm <sup>2</sup>	0.028	0.027	0.030	0.024
Total	kWh/°C cm <sup>2</sup>	0.032	0.029	0.033	0.026
Wärmebedarf	kWh/p	25614	13201	14422	22277
Holzheizung	kg/p	2195	2167	2305	1900
Feuerungswirkungsgrad		0.8	0.55	0.6	0.75
Heizenergie (net.)	kWh/p	7549	5125	5947	6128
Innere Wärmequellen	kWh/p	4230	2545	2430	3000
Sonnenenergie	kWh/p	13835	5529	6045	13149
Sonnenenergie-Anteil	%	54	42	42	59
Heizenergie-Einsp.	%	65	52	50	68

## Resultate

Vor allem auf Grund der verbesserten Gebäude- und Speicherisolation verbraucht das Haus in Urnäsch weniger Heizenergie als die vom System her vergleichbaren Häuser in Gonten, Rothenfluh und Oberglatt. Im Winter 1984/85, der mit einem besonders kalten Januar etwa 5% mehr Heizgradtage aufwies als der langjährige Durchschnitt, wurden nach Angaben der Bewohner knapp 4 Ster Holz verbrannt. Dazu kamen 5280 kWh Strom verteilt über das ganze Jahr. Dies ergibt eine Energiekennzahl für Heizung von 140 MJ/m<sup>2</sup>EBF a, für den gesamten Verbrauch von 230 MJ/m<sup>2</sup>EBF a. Detaillierte Zahlen sind in den nebenstehenden Tabellen 1 und 2 im Vergleich mit dem Messprojekt dargestellt.

Der Bau verlangte besondere Aufmerksamkeit und Sorgfalt von allen Beteiligten, konnte aber weitgehend durch das örtliche Gewerbe, ohne Beizug von Spezialisten, ausgeführt werden. Mit Ausnahme der einseitig schwarzen, einseitig blanken Absorberlamellen, die speziell für uns, aber im normalen Fabrikationsprozess beschichtet wurden, und des sonnenzellen-betriebenen Gleichstrom-Ventilators, der von einer Speziaffirma steckerfertig angeliefert und eingebaut wurde, kamen keine ungewöhnlichen Baumaterialien zur Anwendung. Alle Teile funktionierten auf Anhieb einwandfrei. Defekte betrafen allgemeine Bauprobleme: Nachregulieren der Storenaufhängung, Vereisung der Boiler-Wärmepumpe im Winter wegen zu starker Auskühlung des Kellers, eine gebrochene Scheibe wegen einer Holzstütze, die sich drehte.

Im Betrieb wird das Haus als bequem und angenehm empfunden. Wo ein Beitrag der Bewohner notwendig ist, kann

er nach Gefühl und Gutdünken erfolgen. Die Storen werden abgesenkt, wenn der Wohnraum wegen der flach einfallenden Wintersonne zu hell wird, die Läden geschlossen, um die nachts dunklen Fensterscheiben zuzudecken. Eingefeuert wird einmal, selten zweimal täglich. Das Haus wurde von den eher kälteempfindlichen Bewohnern und von gelegentlichen Besuchern als ausgesprochen warm und hell empfunden. Überheizung wurde, wie schon in den andern Häusern und trotz durchgehendem Absorberbetrieb auch im Sommer, keine festgestellt.

## Ausblicke

Noch sind solche Häuser Einzelfälle. Sie werden zurecht im kleinen Masstab, als Experiment, ohne Garantieverprechen, aber im gegenseitigen Vertrauen erstellt. Die Systeme sind noch aufwendig, etwas troglodytisch, aber sie lassen sich nicht so leicht vereinfachen,

wenn auch Überlegungen dazu vorhanden sind. Wären sie aber, unter der Annahme, dass sie in die richtige Richtung weisen, auch in anderen Aufgaben, an anderen Orten anwendbar?

## Andere Bauaufgaben

Thermisch gesehen ist das Einfamilienhaus die ungünstigste Bauaufgabe. Es hat nur den Vorteil klein zu sein, so dass es mit geringerem Risiko erstellt werden kann, und individuell, so dass der Personenkreis, der es befürwortet und tragen muss, eng begrenzt ist. Andere Bauaufgaben wie Reihenhäuser oder Geschossbauten wären im Grunde genommen besser geeignet. Auch bei dichter Bebauung ist die Südfäche selten limitierender Faktor. Das Verhältnis von Volumen und Oberfläche hingegen ist günstiger und die Zuordnung zwischen Einstrahlung, Raum und Baumasse oft klarer und einfacher.

Hinzu kommt, dass das freistehende Einfamilienhaus, zwar nicht unbedingt in Wirklichkeit, aber doch gefühlsmäßig

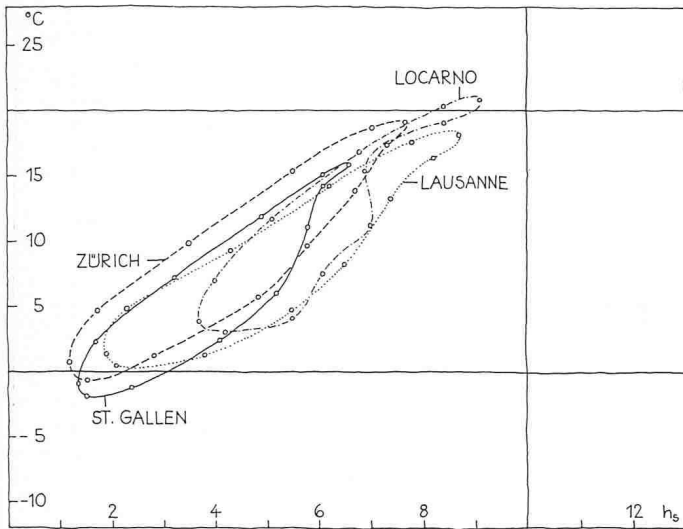


Bild 5. Jahresklima von Zürich, Lausanne, St. Gallen und Locarno, dargestellt durch die mittlere monatliche Aussentemperatur (°C) und Sonnenscheindauer (h)

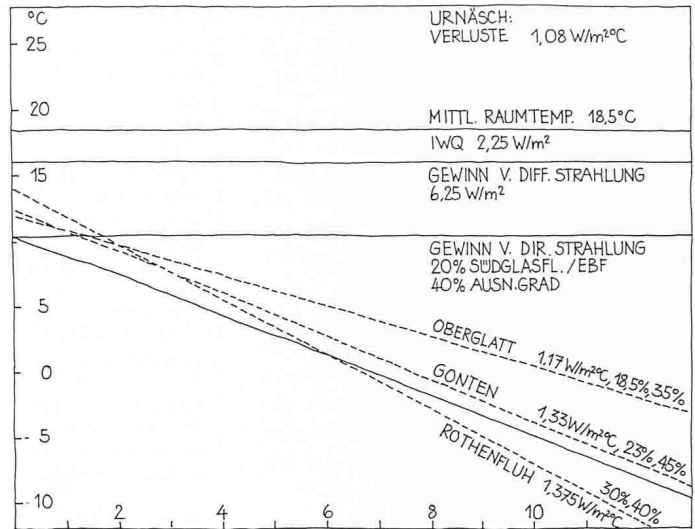


Bild 6. Heizgrenzen für die Häuser in Urnäsch (mit Verteilung, durchgezogene Linien) sowie Gonten, Rothenfluh und Oberglatt (gestrichelte Linien)

sig, dem Ideal weitgehender Unabhängigkeit und besserer ökologischer Einpassung, für das die Sonnenenergienutzung ursprünglich entwickelt wurde, näher kommt, als die grössere Bauaufgabe, bei der sich die komplexeren wirtschaftlichen Zusammenhänge bereits beim Auftraggeber und Benutzer manifestieren. Dieser Konflikt zwischen einer idealistisch vereinfachenden Zielsetzung und der gleichzeitigen Benützung moderner technischer Hilfsmittel entfällt, wenn man das Anliegen der Moderne nach hellen, offenen und zusammenhängenden Räumen mit freier innerer Gestaltung in den Vordergrund stellt. Hier können Elemente der Sonnenenergienutzung, wie früher schon die Gedanken zu einem klimagerechten Bauen sehr wohl bei allen, grösseren wie kleineren Bauaufgaben

einen Beitrag leisten. Sie helfen mit, dass die gewünschten graduellen Übergänge zwischen Innen und Aussen, die «Aufhebung der Schachtel» im Jargon der Moderne, ohne einen unverhältnismässigen Aufwand bei der Erstellung oder im Betrieb realisiert werden können.

**Andere Klimabereiche**

Wie in anderen Ländern zeigt sich auch bei uns, dass ungünstige Winterklimata den Sinn für die Ausnützung der Sonneneinstrahlung schärfen. Eine vereinfachte Darstellung der Jahresklimata durch mittlere monatliche Aussentemperatur und Sonnenscheinstunden, die der Verfasser für einen Vergleich der mehrheitlich maritimen Klimata nördlich der Alpen mit den mehrheitlich kontinentalen Klimata der USA auf-

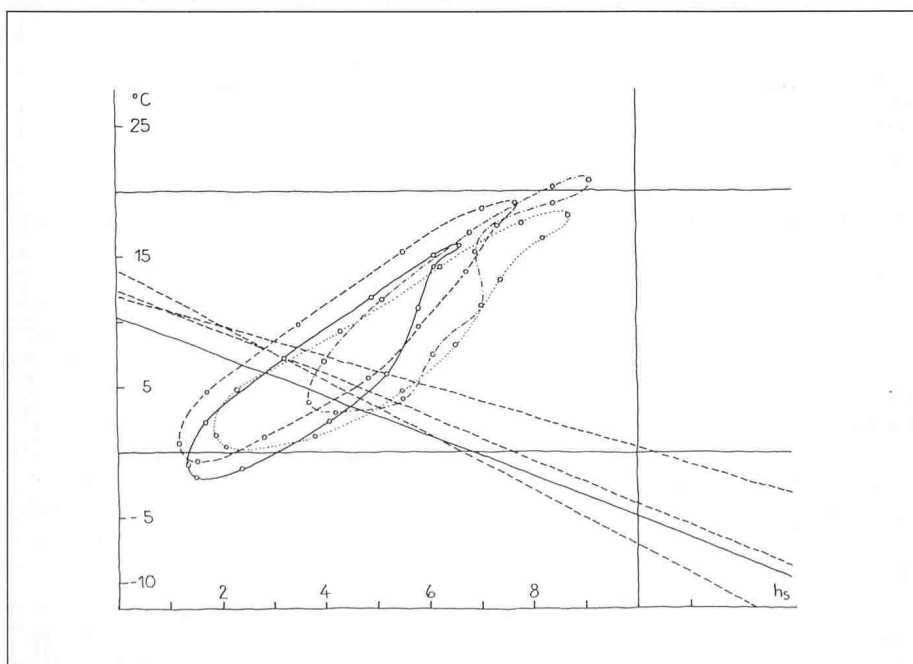
stellte, zeigt, dass auch bei uns sehr grosse klimatische Unterschiede zwischen den Höhenlagen und den südlichen und nördlichen Landesteilen bestehen.

In diese Diagramme können, wiederum in einer grossen Vereinfachung, Heizgrenzen für verschiedene Häuser oder Haustypen proportional zum Wärmebedarf, hier beispielsweise in W/m<sup>2</sup> EBF°C, eingetragen werden.

Durch innere Wärmequellen (Jahresdurchschnitt/h) und diffuse Einstrahlung durch die Fenster (für einen mittleren Tag der Heizperiode 1000 Wh/m<sup>2</sup>Tag, verteilt über 24 Stunden und reduziert um den Transmissionsfaktor) verschiebt sich die Heizgrenze in zwei horizontalen Streifen von der mittleren Raumtemperatur nach unten. Für die direkte Einstrahlung, hier mit 500 W/m<sup>2</sup> Südfläche während den Sonnenscheinstunden angenommen und ebenfalls reduziert um einen Ausnutzungsfaktor, entsteht eine Dreiecksfläche, deren untere Begrenzung dann die eigentliche, grob geschätzte Heizgrenze ergibt. Die Klimakurve unter dieser Linie stellt Zeit dar, wobei die Tage im Winter und im Sommer näher beisammen sind als in der Übergangszeit. Multipliziert mit der restlichen Leistung unter der Heizgrenze ergibt sich der Nettoheizenenergiebedarf, der - wenn die Ausnutzungsgrade nicht zu hoch angenommen wurden - sehr gut mit dem tatsächlichen Verbrauch übereinstimmt.

Das erste Diagramm zeigt die Jahresklimata von Zürich, Lausanne, St. Gallen und Locarno, das zweite die Heizgrenzen der Häuser in Gonten, Rothenfluh, Oberglatt und Urnäsch. Die Überlagerung beider Diagramme macht deutlich, dass gerade das Haus in Urnäsch, das besonders wegen der besseren Wär-

Bild 7. Überlagerung von Jahresklimata und Heizgrenzen



meisolation eine günstigere Skalierung für die Gewinne aufweist, schon südlich der Alpen nahezu ohne Zusatzheizung auskommen könnte, wenn nicht sehr lange Bewölkungsperioden dem System von der Speicherseite her Grenzen auferlegen.

## Schlussfolgerungen

Diese Erwägungen zeigen vielleicht, dass ein Einzelfall wie ein Einfamilienhaus doch Denkrichtungen anregen kann, die über die kleine Bauaufgabe hinausweisen. Moderne Baumaterialien, grosse Glasflächen, leistungsfähige bewegliche und feste Isolationen und richtig ausgenützte Baumassen verän-

dern das thermische Verhalten von Bauten so sehr, dass nicht mehr nur der Energieverbrauch, sondern die Heizgrenze, in günstigeren Klimata sogar die Notwendigkeit zu heizen überhaupt beeinflusst wird. Häuser sind dann nicht mehr nur Behälter, in denen im Winter ein Feuer brennt, dessen Abwärme mehr oder weniger gut zusammengehalten wird, sondern eigentliche klimatische Aggregate, die in einem bewusst bejahten und gestalteten ständigen Austausch mit der Umgebung stehen. Sie sind, was wir zwar längst wissen, aber eben nicht praktizieren, tatsächlich verbunden mit ihrer Umgebung, Modifikationen der Natur, – und nicht Abgrenzungen dagegen.

Adresse des Verfassers: U. Schäfer, dipl. Arch. ETH/SIA, Zollikerstrasse 20, 8122 Binz.

### Haus in Urnäsch

<i>Bauherr</i>	Dr. E. Taverna, Urnäsch
<i>Architekt</i>	U. Schäfer, Binz
<i>Bauingenieur</i>	Dr. W. Bosshard, Dübendorf
Unternehmer:	
<i>Baumeister</i>	Gebr. Biasotto AG, Urnäsch
<i>Zimmerei</i>	H. Frehner, Urnäsch
<i>Fensterbau</i>	W. Zürcher, Gonten
<i>Speicherisol</i>	Stammbach AG, Zürich
<i>Heizung</i>	P. Bürge, Urnäsch
<i>Sonnenzellen</i>	R. Brun, Tamins
<i>Lamellenstore</i>	E. Schenker AG, Schönenwerd
<i>Ofenbauer</i>	P. Rutz, Lichtensteig

## SIA-Energiepreis

# Erdbedecktes Bürohaus

## Heizung mit hybridem Sonnenenergiesystem

Von Kurt Haas, Jona

Im Jahre 1981 wurde das eingeschossige, längliche Gebäude als Anbau an das bestehende Wohnhaus (Baujahr 1972) angefügt und – mit Ausnahme der Südseite – allseits mit Erde bedeckt. Dadurch wird eine wärmedämmende und temperaturnausgleichende Wirkung erzielt. Die hohe und vollverglaste Südseite ist als Fenster- und Luftkollektor ausgebildet, der seine Energie entweder direkt passiv in den Raum oder dann aktiv in den Geröllspeicher abgibt. Zur Reduktion der Wärmeverluste schliessen ausserhalb der Bürozeit «Thermoläden» die grossen Fensteröffnungen. Die Heizenergiekennzahl liegt mit  $EH = 52 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{a}$  (1982/83) sehr tief und beträgt noch rund 10% konventioneller Bauten. Der solare Deckungsanteil liegt bei etwa 50%.

Ein Messprojekt, das vom Bundesamt für Energiewirtschaft und dem Kanton St. Gallen finanziert wird, soll weiteren Aufschluss über die Effizienz der einzelnen Massnahmen ergeben.

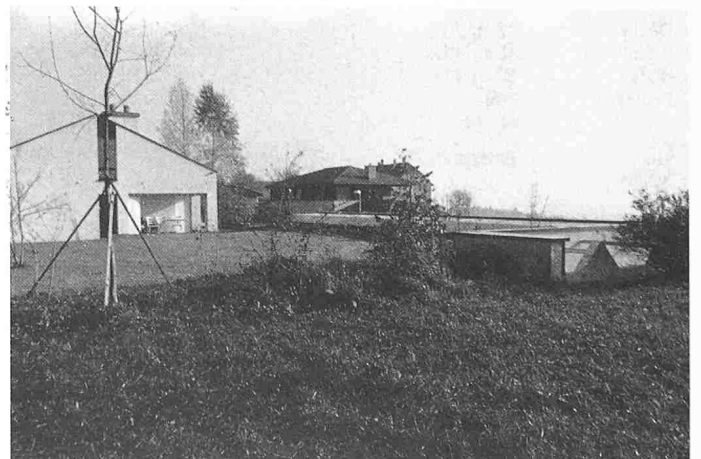
## Konzept

Der längliche Bürotrakt von 10/20 m – als Konstruktionsbüro für die Haas + Partner AG entworfen – nimmt die ursprüngliche Hügelkuppe südwärts ab und ersetzt diese in künstlicher, erdbedeckter Bauweise. Das ganze Gelände über dem Gebäude steht dem angrenzenden Wohnhaus als Grünfläche, mit freier Sicht, wieder zur Verfügung (vgl. Bilder 1 und 2). Die konsequente Ausbildung einer Temperaturschichtung von Süden nach Norden, in Form von Pufferzonen, reduziert die Wärmeverluste (vgl. Bild 3). Das Fensterband ist mit 3,20 m gegen Süden weit geöffnet. Dies leuchtet am 22. Dezember, mittags, den Arbeitsraum in seiner ganzen Tiefe aus und macht so aus der «erdbedeckten»

Bild 1. Gesamtansicht von Süden; links erdbedeckter Bürobau, rechts Wohnhaus



Bild 2. Dachaufsicht erdbedeckt, bepflanzt. Die Spielwiese ist vollständig begrünt und mit einer Randbepflanzung versehen



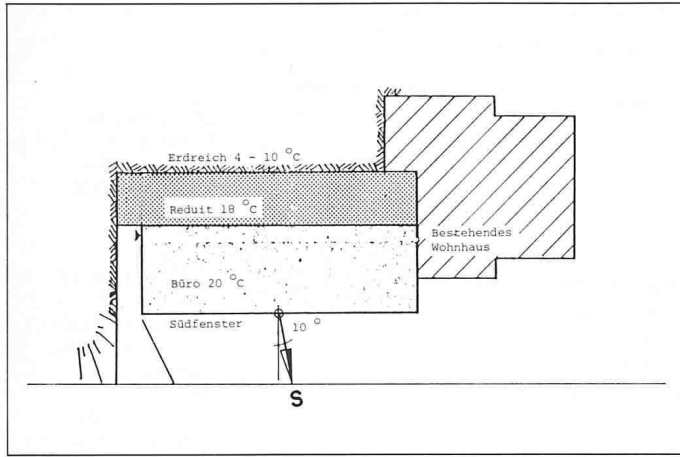


Bild 3. Pufferzonen. Die Temperatur nimmt von Süden nach Norden ab

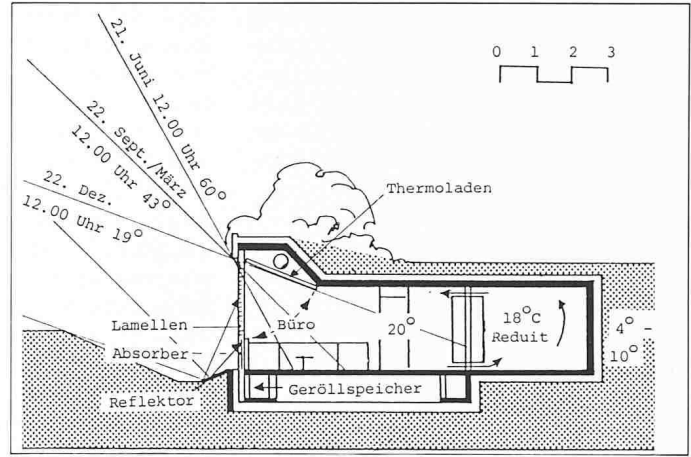


Bild 4. Schnitt durch das Gebäude

deckten Höhle» einen lichtdurchfluteten Arbeitsraum. Im Reduit-Bereich sind Archiv, Sanitärräume und Besprechungszimmer untergebracht. Mit dem Luft- und Fensterkollektor wird bei Sonneneinstrahlung warme Luft erzeugt, die durch einen Ventilator in den Geröllspeicher geblasen wird. Dieser erwärmt sich und gibt die Wärme passiv, durch eine Zwischenisolation verzögert, an den Raum ab. Die Arbeitsräume sind von diesem geschlossenen Warmluftsystem unberührt und werden individuell durch Fensterflügel belüftet. Freie Luftzirkulation zwischen Büro und Reduit sowie Oberflächen-

materialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit führen die eingestrahelte Wärme in die Gebäudemasse ab und sorgen so für eine hohe thermische Trägheit und somit für ein ausgeglichenes Raumklima. Zur Erweiterung des Strahlungsangebotes ist vor der Fassade ein weisses Band aus Steinplatten als Reflektor angelegt (vgl. Bild 4).

### Gebäudehülle - Erdbedeckung

Der Gebäudehülle kommt bei jedem energiebewusst konzipierten Gebäude grosse Bedeutung zu. Dies gilt natürlich um so mehr bei erdbedeckter Bauweise. Der Dachaufbau ist wie folgt ausgeführt:

- 18-24 cm Beton
- Dampfsperre
- 2x60 mm PU
- 1,2 mm Sarnafil
- 60 mm Polystyrol-Sickerplatten
- 200 g/m<sup>2</sup> Filtermatte
- 30-50 cm Humus

Die gewählte Humusstärke war das Ergebnis der vorhandenen Höhenverhältnisse. Eine Optimierung soll das ein-

gangs erwähnte Forschungs- und Messprojekt bringen. Erste Anhaltspunkte brachte eine Semesterarbeit, durchgeführt von Studenten des Technikums Muttenz (Lit. [1]). Zudem wird durch die Erdbedeckung ein erheblicher ökologischer Beitrag gegen die Verbauung unserer Landschaft geleistet.

Der Wand- und Bodenaufbau ist analog (vgl. Tabelle 2). Die Isolation ist im Bereich Boden/Wand durchgezogen. Nur statisch notwendige Punktauflager durchdringen diese. Die Optimierung der Isolation unter dem Speicher erfolgte mit einer Speichertemperatur von 40°, was heute nicht ganz erreicht wird. Alternativen mit Schaumglas sind untersucht worden, mussten aber aus Kostengründen wegfallen.

### Sonnenenergienutzung: Kollektorfassade und Geröllspeicher

Die Kollektorfassade besteht vertikal aus drei verglasten Teilen (vgl. Bild 5): der Brüstung, dem Sichtteil und dem Oblicht. Im Querschnitt von aussen

Klima:	
geogr. Breite	47° 15'
Höhe über Meer	500 m
Fassadenorientierung	AZ 190°
Heizgradtage (ZHSM)	3718 HGT (Jahr)
Gebäudeabmessungen:	
Energiebezugsfläche	213 m <sup>2</sup>
m <sup>3</sup> SIA mit Speicher	1180 m <sup>3</sup>
m <sup>3</sup> SIA ohne Speicher	1075 m <sup>3</sup>
Kollektorflächen netto	41 m <sup>2</sup>
Geröllspeicher	60 m <sup>3</sup>
Thermische Gebäudemasse	C = 80 kWh/K

Tabelle 1. Klima und Gebäudedaten

Tabelle 2. K-Werte, Brutto-Wärmebedarf, Energiekennzahl

Decke	12 cm PU,	0,210 W/m <sup>2</sup> K
Wand	12 cm PU,	0,230 W/m <sup>2</sup> K
Boden	20 cm PU,	0,170 W/m <sup>2</sup> K
Fenster:	Tag	1,600 W/m <sup>2</sup> K
	Nacht	0,350 W/m <sup>2</sup> K
Tag	Betrieb	QH = 6400 W (n = 0,30)
Nacht		QH = 4600 W (n = 0,15)
Energiekennzahl:		
EH Öl (η = 80%)		= 46 MJ/m <sup>2</sup> a
EH Ventilator		= 6 MJ/m <sup>2</sup> a
EH = Heizenergiekennzahl		= 52 MJ/m <sup>2</sup> a
EEL = Energiekennzahl Strom		= 70 MJ/m <sup>2</sup> a
E = Total		= 122 MJ/m <sup>2</sup> a

Tabelle 3. Daten Luftkollektor/Geröllspeicher (Vergleiche mit weiteren Luftkollektoren siehe [4], S. 117)

Ventilatorstufen	ST 1	ST 2
Ventilatorleistung	265 W	630 W
Ventilatorleistung/m <sup>2</sup> Koll.	6,5 W/m <sup>2</sup>	15,4 W/m <sup>2</sup>
Luftgeschwindigkeit		
Kanal	1,53 m/s	4,56 m/s
Kollektor	0,07 m/s	0,20 m/s
Max. Stundenleistung	590 m <sup>3</sup> /h	1760 m <sup>3</sup> /h
Max. Stundenleistung/m <sup>2</sup> Koll.	14,4 m <sup>3</sup> /h	43 m <sup>3</sup>
Steuerung:		
Temperaturdifferenz Lamelle/Speicher	10 °C	-
Kollektortemperatur	-	40 °C
Max. Tagesleistung	14 670 m <sup>3</sup> /d	
Kollektorfläche netto	41 m <sup>2</sup>	
Geröllspeicher	60 m <sup>3</sup> , 30 kWh/K	
Geröllspeicher/m <sup>2</sup> Koll	0,73 kWh/Km <sup>2</sup>	
	1,46 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	
Druckdifferenz total	11 mm H2O	



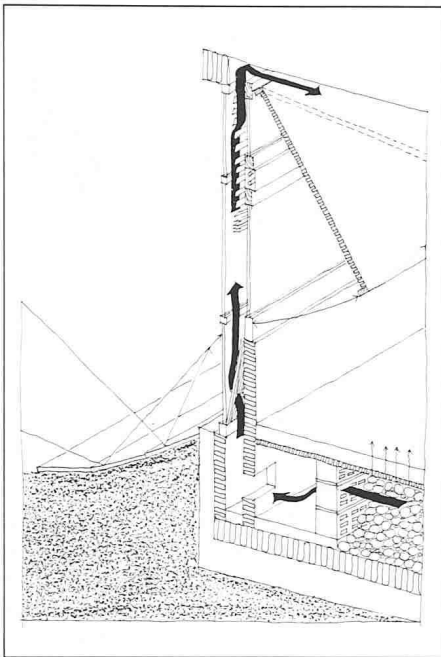


Bild 5. Perspektive Kollektorfassade/Geröllspeicher

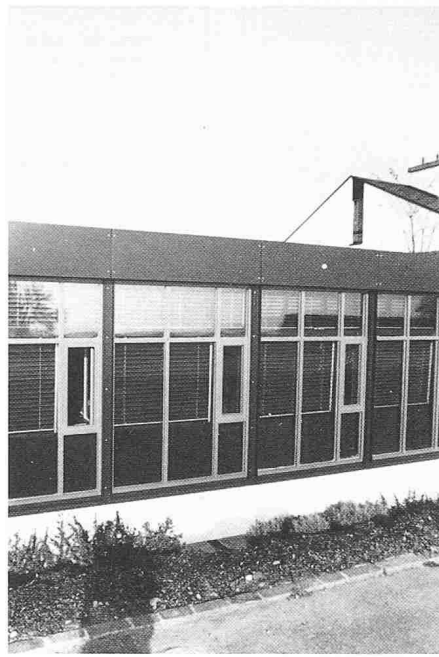


Bild 6. Die Chamäleonfassade dunkel, auf Absorption eingestellt



Bild 7. Die Chamäleonfassade weiss, auf Reflexion eingestellt

nach innen folgen: Stahlfenster, thermisch getrennt, Isolierglas zweifach; Luftzwischenraum 15-20 cm; Holzfenster, Isolierglas zweifach bzw. Brüstung als Sandwich aus Eternit, weiss, und 100 mm PU.

Die Fassade kann - einem Chamäleon gleich - der thermischen Situation entsprechend farblich verändert werden. In der Speicherperiode (1982/83 vom 21. August bis 13. April) werden im Brüstungsbereich schwarze Absorber

aus Steckmetall eingesetzt, im Oblicht- und Sichtbereich stehen die Lamellenstoren, mit der braunen Seite nach aussen, unter 45°. Die Fassade ist dunkel, auf Absorption eingestellt (vgl. Bild 6).

Im Sommer werden die Absorber aus dem Brüstungsbereich entfernt, der weisse Eternit wird sichtbar, im Oblicht- und Sichtbereich stehen die Lamellenstoren mit der weissen Rückseite zur Sonne. Die Fassade ist weiss, auf Reflexion eingestellt (vgl. Bild 7). Gros-

se Thermo-Klapppläden, die am Tag einen Teil der Decke bilden, werden im Winter in der Nacht und übers Wochenende von Hand heruntergeklappt (vgl. Bild 8) und reduzieren so den Bruttowärmebedarf um 28% (vgl. Tabelle 2).

Ein zweistufiger Ventilator wälzt die Luft temperaturgesteuert um (vgl. Tabelle 3). Thermosyphonzirkulation in der Nacht kann nicht ausgeschlossen werden.

Bild 9. Energiebilanz 1982/83, Sonneneinstrahlungswerte AZ 190° vertikal, Jona gemessen

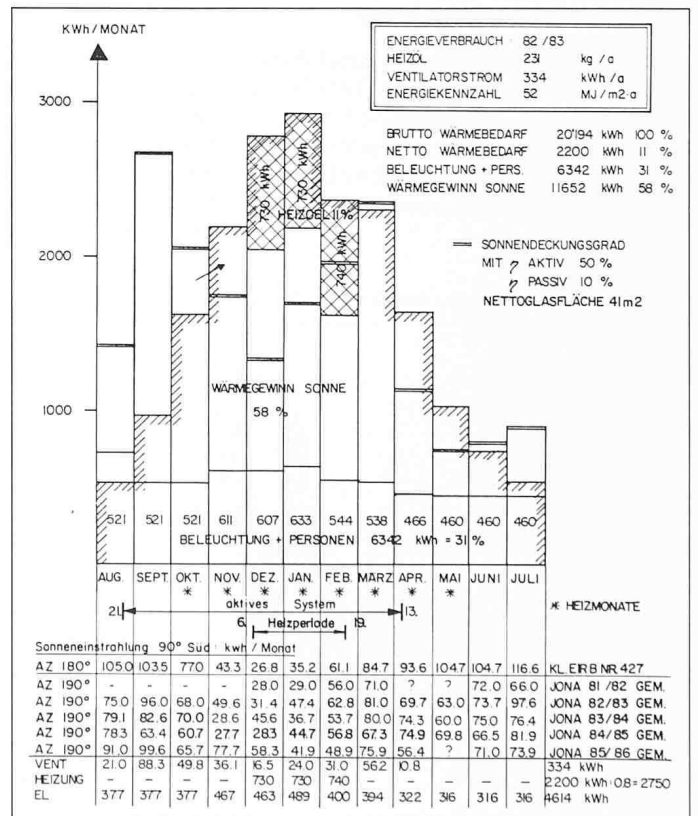


Bild 8. Thermoläden beim Herunterklappen



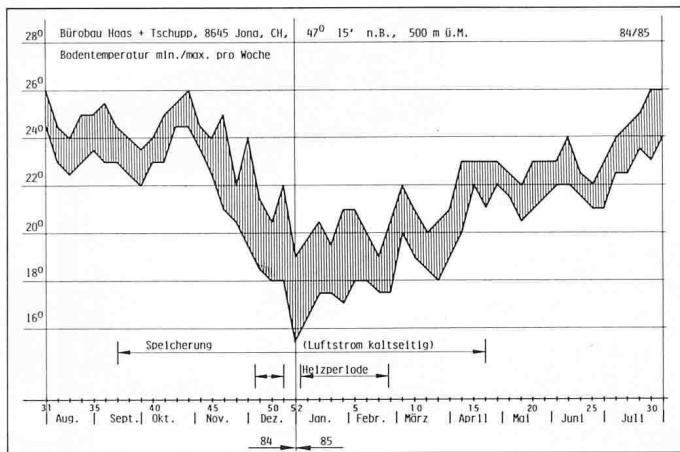


Bild 10. Bodentemperatur, min./max. pro Woche

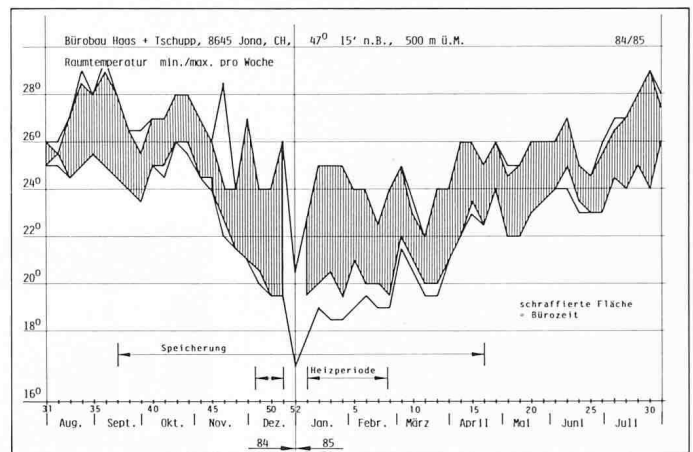


Bild 11. Raumtemperaturen min./max. pro Woche (schraffierte Fläche = Bürozeit)

### Energiebilanz 1982/83

Durch die konsequente Isolation beträgt der Bruttoenergiebedarf noch 94,8 kWh/m<sup>2</sup>a (rund 340 MJ/m<sup>2</sup>a). Dieser wird zu 31% durch Beleuchtung und Personen (Strom gemessen) und zu 11% als Nettowärmebedarf durch die Ölheizung des Wohnhauses gedeckt (gemessen). Die Wärmeverteilung erfolgt durch Niedertemperaturheizkörper mit Thermostatventilen. Die Heizsaison dauert vom 6. Dezember bis 19. Februar. Es wird nur an Wochentagen, vor und während der Arbeitszeit, geheizt.

Der Restwärmebedarf (etwa 58%) wird durch Sonne gedeckt. Ein Solarimeter misst die momentane, tägliche und monatliche Einstrahlung auf die vertikale Fassadenfläche (vgl. Bild 9). Der Stromverbrauch für den Ventilator beträgt 1-1,5% der Bruttoeinstrahlung.

Die Heizenergiekennzahl (zugeführte, gekaufte Heizenergie) (vgl. Tabelle 2), verglichen mit konventionellen Bauten, liegt bei etwa 10% [2]. Ein Vergleich von Solarhäusern in der Schweiz zeigt, dass konvektive Fassaden sehr gut abschneiden (Lit. [3]).

### Behaglichkeit und Gebädeträgheit

In den Diagrammen (Bilder 10 bis 13) wurden die gemessenen Temperaturwerte als Wochenminima und -maxima aufgetragen. Die Aussentemperatur (Bild 13) liegt im August 1984 +1,1 °C über dem langjährigen Monatsmittel, im Januar 1985 -4,1 °C darunter und im Juli 1985 +2,2 °C darüber (Zürich, Schweizerische Meteorologische Anstalt). Die Raumtemperatur (Bild 11) erreicht in den Sonnenspitzenmonaten das Maximum am Nachmittag bei +29 °C. Durch Nachlüftung sinken dann die Temperaturen am Morgen wieder auf 24-25 °C. Die grössten Schwankungen pro Woche sind in den Monaten Dezember und Januar zu verzeichnen, da bei diesem kleinen Sonnenangebot, auch bei einem strahlenden Tag, die Storen kaum gezogen werden, so dass volle passive Sonnenenergienutzung vorliegt. In der Periode vom 16. Dezember bis 5. Januar wurde das Gebäude während 18 Tagen ohne Fremdenergie sich selbst überlassen. Die Raumtemperatur betrug am 5. Januar noch +17 °C.

Die Speichertemperatur (Bild 12) hat Ende August etwa Raumtemperatur angenommen und steigt dann bei Speicherbeginn, durch das grosse Sonnenangebot im September, um rund +3 °C/Woche. Aus den Kurven ist zu entnehmen, dass nicht ein Wochen-, Monats- oder Saisonspeicher definiert werden kann. Grob gesagt, lässt sich die Septemberwärme in den November übertragen. Dies sind immerhin zwei Monate.

Die Bodentemperatur (Bild 10) weist wesentlich kleinere Schwankungen auf als die Speicher- oder Raumtemperatur. Die Klinkerplatten wirken sehr temperaturlausgleichend.

### Kosten

Der Kubikmeterpreis - ohne Sonnenenergieanlage und Geröllspeicher - beträgt Fr. 300.-/m<sup>3</sup>, mit Sonnenenergieanlage und Geröllspeicher Fr. 347.-/m<sup>3</sup>. Die Zusatzkosten betragen Fr. 86 000.-. Der Kubikmeterpreis für die Gesamtanlage liegt für Bürobauten unter dem Durchschnitt. Vergleicht man

Bild 12. Speichertemperatur min./max. pro Woche

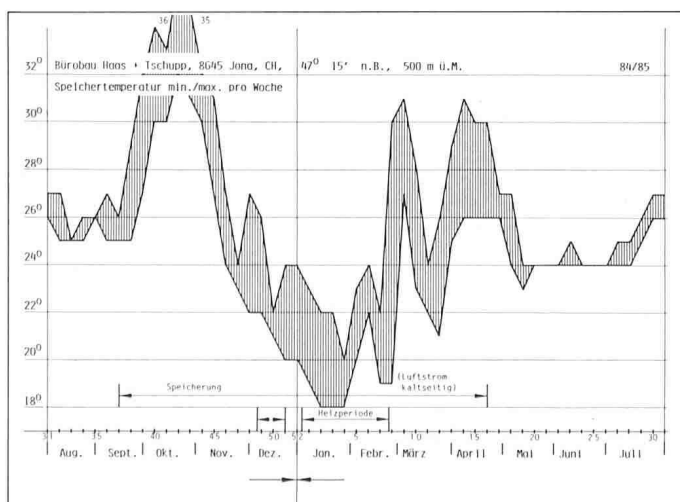
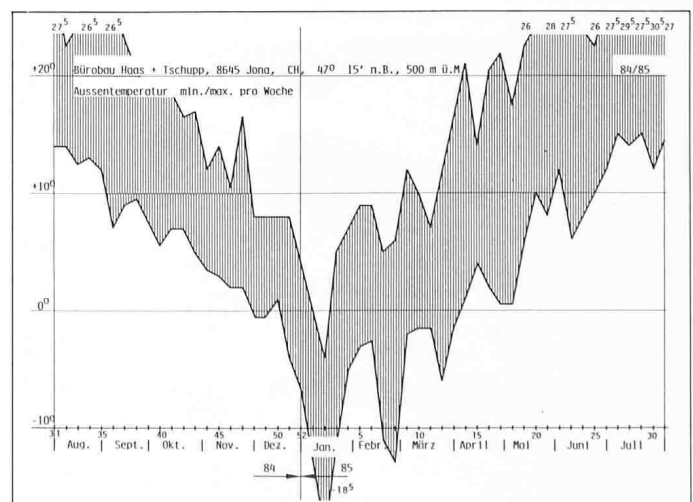


Bild 13. Aussentemperatur min./max. pro Woche



den Bürobau H + P mit einem konventionellen Bau, setzt den konventionellen Bau 10% billiger, die Energiekosten aber 10mal höher ein, so ergeben sich (bei: Zins 6%, 50 J. a = 6,34%, Heizöl Fr. 80.-/100 kg, Geschosshöhe 3,0 m) für die Jahresgesamtkosten (Kapitalkosten + Heizkosten) pro m<sup>3</sup> folgende Vergleichswerte:

Bürobau	H + P	konvent.
m <sup>3</sup> -Preis	Fr. 347.-	Fr. 312.-
EH MJ/m <sup>2</sup> a	52	520
Kap. + Amort./m <sup>3</sup> a	22,43	19,78
Energiekosten/m <sup>3</sup> a	0,33	3,25
<b>Gesamtkosten/m<sup>3</sup> a</b>	<b>Fr. 22,76</b>	<b>Fr. 23,03</b>
	<b>98,8%</b>	<b>100%</b>

Das Gebäude ist also auch gegenüber einem günstigeren Bürobau mit einem relativ kleinen Energieverbrauch wirtschaftlich. Rechnet man jedoch das gleiche Gebäude mit und ohne aktive Sonnenenergieanlage, so lassen sich die Fr. 86 000.- Mehrkosten kaum amortisieren.

## Probleme/Messprojekt

Die Isolation über dem Geröllkoffer ist zu dünn, es liesse sich länger und höher speichern (evtl. ohne Fremdenergie). Der sommerliche Wärmeschutz kann noch verbessert werden. Im Winter setzt sich Kondenswasser im Luftkollektor an (ästhetisch), das aber problemlos abgeleitet werden kann. Das Betreiben der Anlage ist technisch einfach (nur ein Ventilator), *bedingt aber gute Wetterbeobachtung und ein Gefühl für die einzelnen Einflussgrössen.* Durch Fehleinschätzungen des Wetters können die Solltemperaturen in den Randzeiten unterschritten werden.

Ein Messprojekt über zwei Jahre – durchgeführt im Rahmen des IEA-Projektes Task XI: «Passive and Hybrid Solar Commercial Buildings», im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft und des Kantons St. Gallen – soll Aufschluss über das Verhalten des Gesamtsystems sowie der einzelnen Komponenten geben. Im Vordergrund steht die Wirkung der Erdbedeckung, der Thermoläden sowie das Verhalten in

anderen Klimata, wie Davos, Lugano, Genf, Kopenhagen und Denver. Die Arbeiten werden in Zusammenarbeit mit der EMPA Dübendorf und dem Interkantonalen Technikum Rapperswil durchgeführt und zu gegebener Zeit an dieser Stelle veröffentlicht werden.

Adresse des Verfassers: K. Haas, dipl. Bauing. HTL/ETH/SIA, Haas + Partner AG, Ingenieure + Planer, Grüneckweg 19, 8645 Jona (Gesamtplanung und Bauleitung). Für Gestaltung zuständig: B. Ernst, Architekt HTL, Rapperswilerstr. 24a, 8630 Rüti ZH.

### Literatur

- [1] E. + G.A. Roserens: «earth architecture», Semesterarbeit NDS-Energie 84/85, HTL Muttenz
- [2] U. Burkhardt / B. Wick: Energiekennzahlen von Bundesbauten. Schweiz. Ing. und Arch. H. 18/1983
- [3] Schäfer U. + S.: «Passive und hybride Sonnenenergie-Nutzung in der Schweiz», Infosolar, 5200 Brugg
- [4] A. Binz / A. Gütermann: Die Optimierung der passiven und hybriden Sonnenenergie-Nutzung an drei Projekten, Februar 1986, Bundesamt für Energiewirtschaft, NEFF

## SIA-Energiepreis

# Archives cantonales vaudoises

Par Lucien Keller, Patrick Vogel, Marc Collomb et Guy Collomb, Lavigny et Lausanne

Le bâtiment des Archives cantonales vaudoises, qui traite d'un programme diversifié, a été l'objet d'une étude soignée quant à sa consommation d'énergie et son confort. Cette étude, au cours de laquelle les lois de l'économie on toujours été respectées, a conduit à un bâtiment faisant largement appel à l'énergie solaire passive, bien isolé et muni d'installations techniques ayant d'excellents rendements énergétiques et exergétiques.

Das Gebäude der Kantonsarchiv Waadt, das ein vielfältiges Programm umfasst, wurde gründlich auf Energieverbrauch und Komfort studiert. Die fortwährend auf Wirtschaftlichkeitsrechnungen abgestützten Untersuchungen haben zu einem Gebäude geführt, welches die passive Sonnenenergie optimal nutzt, gut isoliert ist und dessen technische Anlagen sehr gute energetische und exergische Wirkungsgrade vorweist.

## Architecture et site

Ce bâtiment, qui traite d'un programme diversifié, réunit toutes ses parties en un organisme orienté par rapport à la course du soleil. Au sud se développent les secteurs habités et à l'arrière ceux qui sont spécifiquement destinés au dépôt des documents. Cet ordre correspond à la préoccupation d'utiliser au mieux les énergies que le marché et la

nature mettent à disposition et il symbolise aussi les rapports qui s'établissent entre le monde des chercheurs et celui de l'histoire, déposée sous forme d'archives à l'intérieur de la construction.

A l'avant, les activités humaines s'organisent sur trois niveaux: en bas sont déposés le tri et le traitement des documents que l'on amène pour y être archivés, à l'étage intermédiaire se déploient les espaces accessibles au public, princi-

palement la salle de lecture, les cabinets de travail et un auditoire, enfin l'étage supérieur abrite l'administration de la maison.

A l'arrière se regroupent les vingt-trois alvéoles servant de dépôts aux documents. De plan carré, elles se placent dans une géométrie triangulaire génératrice de la règle de croissance de cet organisme destiné à englober une éventuelle extension.

L'ensemble du bâtiment des Archives cantonales manifeste donc une volonté de regroupement et de cohésion de divers éléments en un tout perceptible comme un ensemble, traduisant dans chaque situation la destination de ses parties. L'emploi de matériaux simples souligne cette volonté d'intégrité: crépi, métal et plots de ciment pour l'extérieur, béton brut et plots de verre pour l'intérieur. Le langage des formes, volontairement limité au cercle et au carré, concourt aussi à l'esprit de clarté recherché.

Enfin, le bâtiment s'implante de façon économe et significative dans le vaste site à disposition. De préférence à une position banalement centrée, l'édifice occupe une frange de la parcelle, caracté-



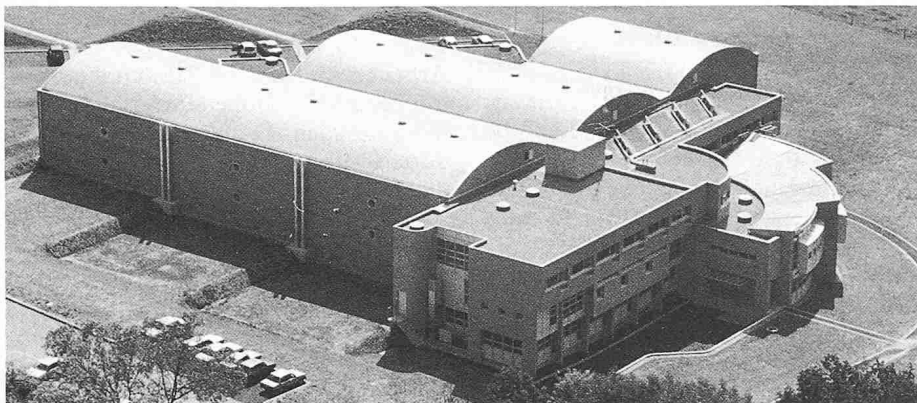
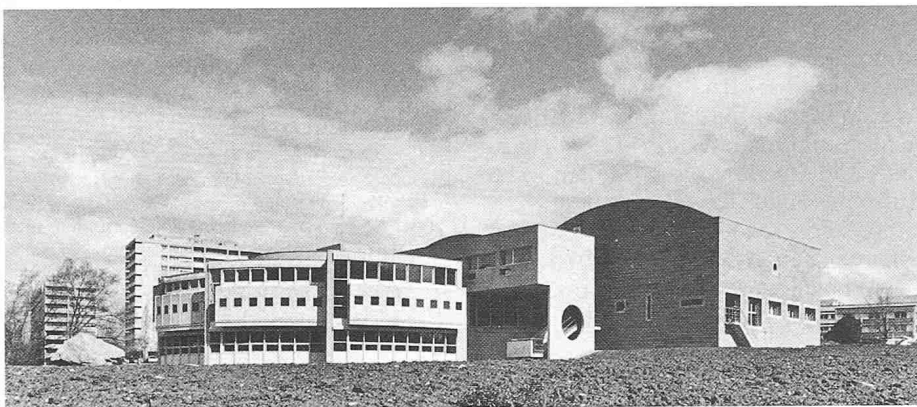


Photo 1. Archives cantonales vaudoises / Staatsarchiv Waadt

Photo 2. Façade sud-est / Südost-Fassade



térisée par la richesse de son environnement. Ainsi, l'aspect différencié des façades dialogue avec la diversité des limites du terrain où se succèdent industrie, bureaux et végétation naturelle.

### Conception énergétique

Une collaboration entre les architectes et l'ingénieur thermicien a permis d'intégrer les exigences de l'économie d'énergie dès le stade du concours :

- disposition des locaux permettant une réduction des besoins de chauffage
- orientation permettant de bons gains solaires passifs; l'orientation au sud-ouest est dictée par la parcelle, mais cette orientation est favorable au solaire passif du fait des brouillards matinaux
- protection solaire estivale à l'aide de surplombs judicieusement dimensionnés, protection complétée par des stores, stores qui seront d'ailleurs peu utilisés

- dimensionnement de l'isolation selon des critères économiques, puis dimensionnement du système solaire passif; du fait de l'isolation relativement importante les besoins sont réduits et les vitrages capteurs relativement petits: vu de l'extérieur, le bâtiment ne ressemble pas à un bâtiment solaire passif traditionnel, et pourtant la part du solaire passif est importante!

Lors de l'exécution, le dimensionnement économique de l'isolation a été affiné, le maître de l'ouvrage ayant défini les critères de base tels que durée d'amortissement, taux d'intérêt, d'inflation, de renchérissement du prix de l'énergie. Bien que les résultats de ces calculs aient pu paraître surprenants à l'époque (les épaisseurs d'isolation économiquement optimales dépassaient 15 cm), la démarche choisie n'a pas été remise en cause (cf. Fig. 2). Notons encore que l'ingénieur électricien a également fait un gros effort en vue de réduire la consommation d'électricité, en cherchant à assurer un éclairage suffisant non pas, comme cela se fait souvent, en multipliant à l'infini les sources de lumière, mais en les plaçant judicieusement; de plus toutes les lampes sont des lampes à néon ou halogène, de faible consommation.

### Installations techniques

Pour le choix du système de production d'énergie une comparaison économique entre diverses possibilités a également été faite. Suite à cette étude (cf. Fig. 3) un système relativement complexe a été choisi, système comprenant en particulier:

- 4 groupes chaleur-force de type totem, d'une puissance thermique de 4x41 kW (condensation comprise) et d'une puissance électrique de 4x15 kW

Photo 3. Une cellule / Eine Zelle

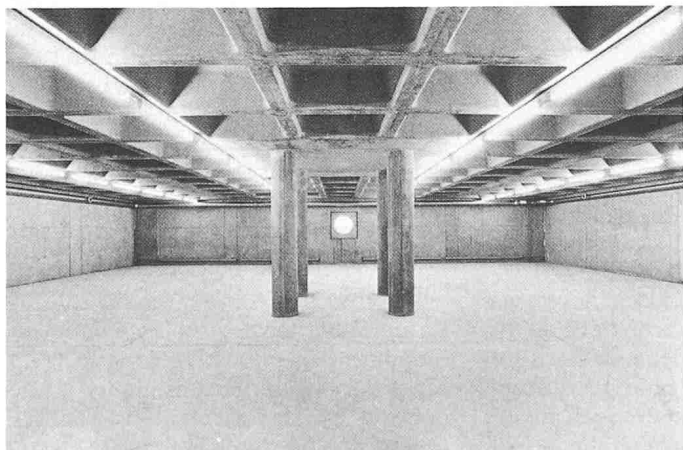
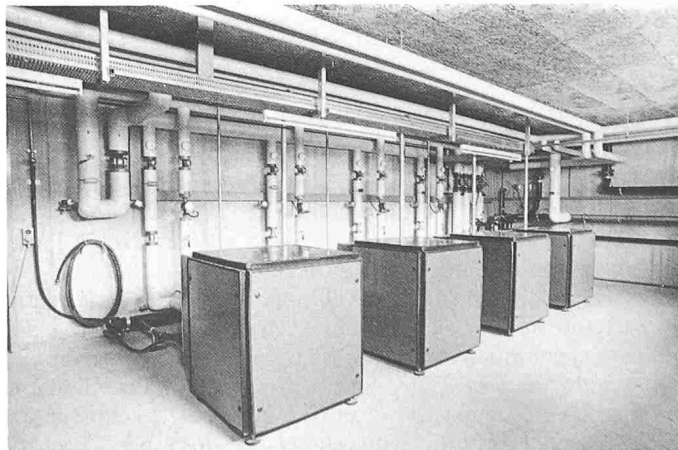


Photo 4. Couplage chaleur-force / Wärme-Kraft-Kopplung





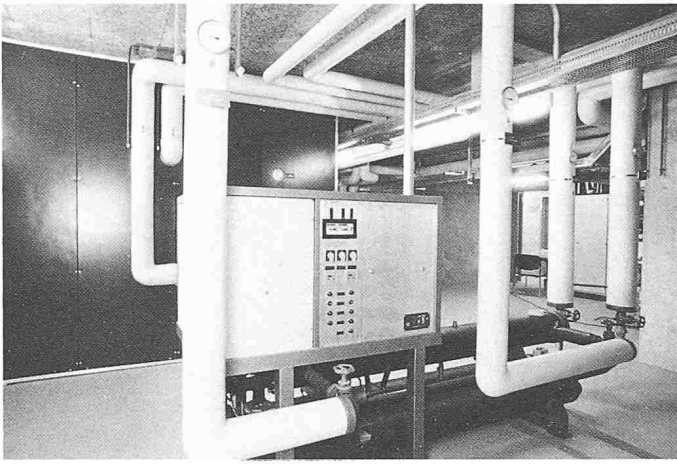


Photo 5. Pompe à chaleur / Wärmepumpe

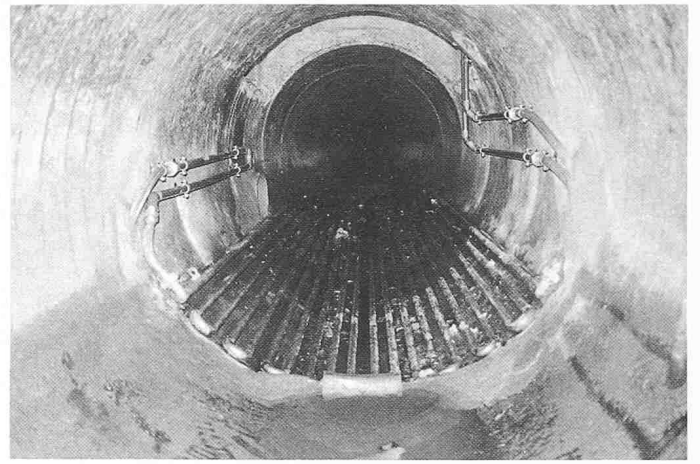


Photo 6. Echangeur de chaleur dans les égouts / Wärmetauscher im Abwasser

- une pompe à chaleur à deux étages, caractérisée par une puissance absorbée de  $2 \times 4,75$  kW et une puissance thermique de  $2 \times 17,1$  kW, la source froide étant constituée par un égout
- un stock tampon de  $10 \text{ m}^3$  d'eau
- une installation solaire pour la préparation d'eau chaude sanitaire ( $16,5 \text{ m}^2$  (cf. Fig. 4).

Il va sans dire qu'une ventilation n'a été prévue qu'aux endroits où cela était tout à fait indispensable (locaux borgnes p. ex.) et qu'elle a été dimensionnée en fonction d'un taux de renouvellement de l'air minimal, permettant d'assurer le confort et d'éviter les inconvénients dus à des polluants tels que le radon par exemple. La pose de récupérateurs de chaleur sur l'air extrait allait de soi.

La gestion de l'installation, qui se fait par ordinateur, est avant tout conditionnée par un accord avec le service électrique local, qui avait promis un tarif de rachat de l'électricité excédentaire correct à condition que cette électricité soit injectée dans le réseau de préférence durant les heures de pointe. Pour respecter cette condition, le stock est dé-

chargé en-dehors des heures de pointe, puis les totems et la pompe à chaleur mis en route en cascade, en fonction des besoins; durant les heures de pointe un totem supplémentaire est enclenché, et l'excédent de chaleur correspondant stocké. Stockage et déstockage s'effectuent selon le principe de l'injection directe. D'autres finesses, qu'il serait fastidieux d'énumérer ici, permettent l'optimisation de la consommation d'énergie du bâtiment.

### Résultats des mesures

L'ordinateur servant à la gestion de l'installation permet également d'acquérir les données en vue du contrôle du fonctionnement de l'installation et de l'établissement de bilans énergétiques.

Les résultats donnés ci-après concernent la saison de chauffe juin 1985 - juin 1986, saison durant laquelle de nombreux ajustements ont été faits et au cours de laquelle nous avons également découvert un certain nombre de défauts mineurs dans le système de gestion et de mesures. Ces résultats doivent

donc être interprétés avec quelque prudence; des mesures plus précises se feront encore durant la saison prochaine.

### Inertie thermique

Le stockage des documents nécessite une stabilité aussi grande que possible tant du point de vue température que du point de vue humidité, l'inertie thermique des dépôts jouant de ce point de vue un rôle déterminant. La constante de temps des dépôts varie de 1500 heures pour les plus exposés à 27500 heures pour les mieux protégés, la moyenne étant de 5500 heures environ, à comparer avec l'inertie déjà non négligeable de la partie administrative dont la constante de temps est d'environ 77 heures.

### Rendement des appareils

Les rendements suivants ont été mesurés:

- totems: rendement thermique: 68% et rendement électrique: 26,5%, correspondant aux erreurs pres aux indications du fabricant (66% et 25,8%)
- condenseur:  $\sim 4\%$  (valeur demandant à être confirmée)

Photo 7. Capteurs solaires / Sonnenkollektoren

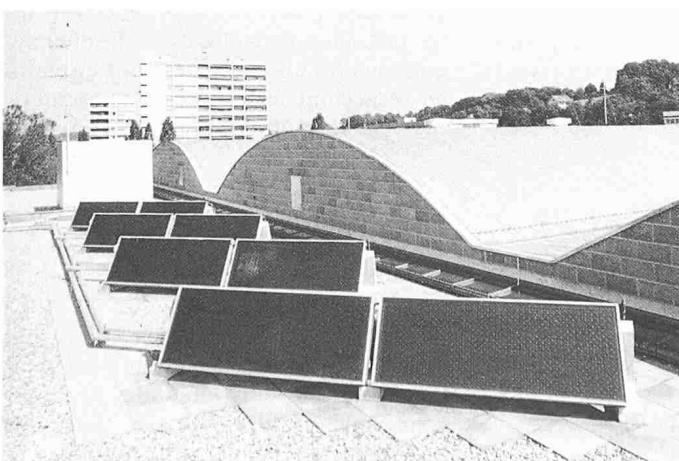
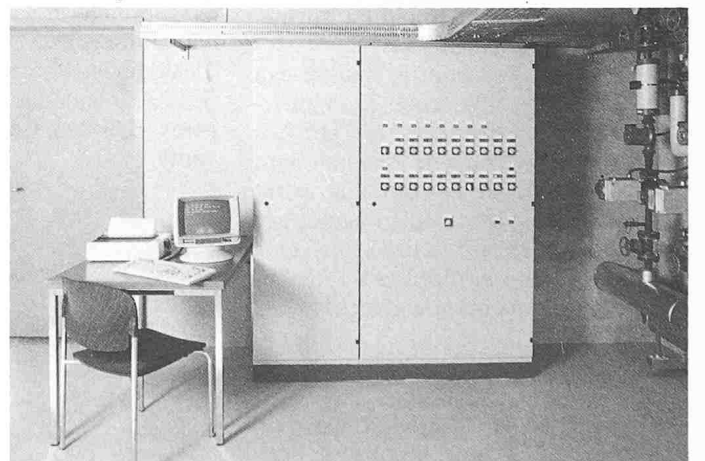


Photo 8. Ordinateur pour la gestion et la mesure / Computer für Steuerung und Messung



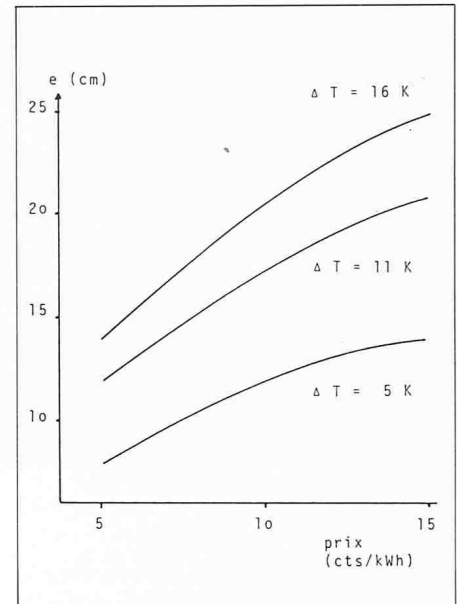
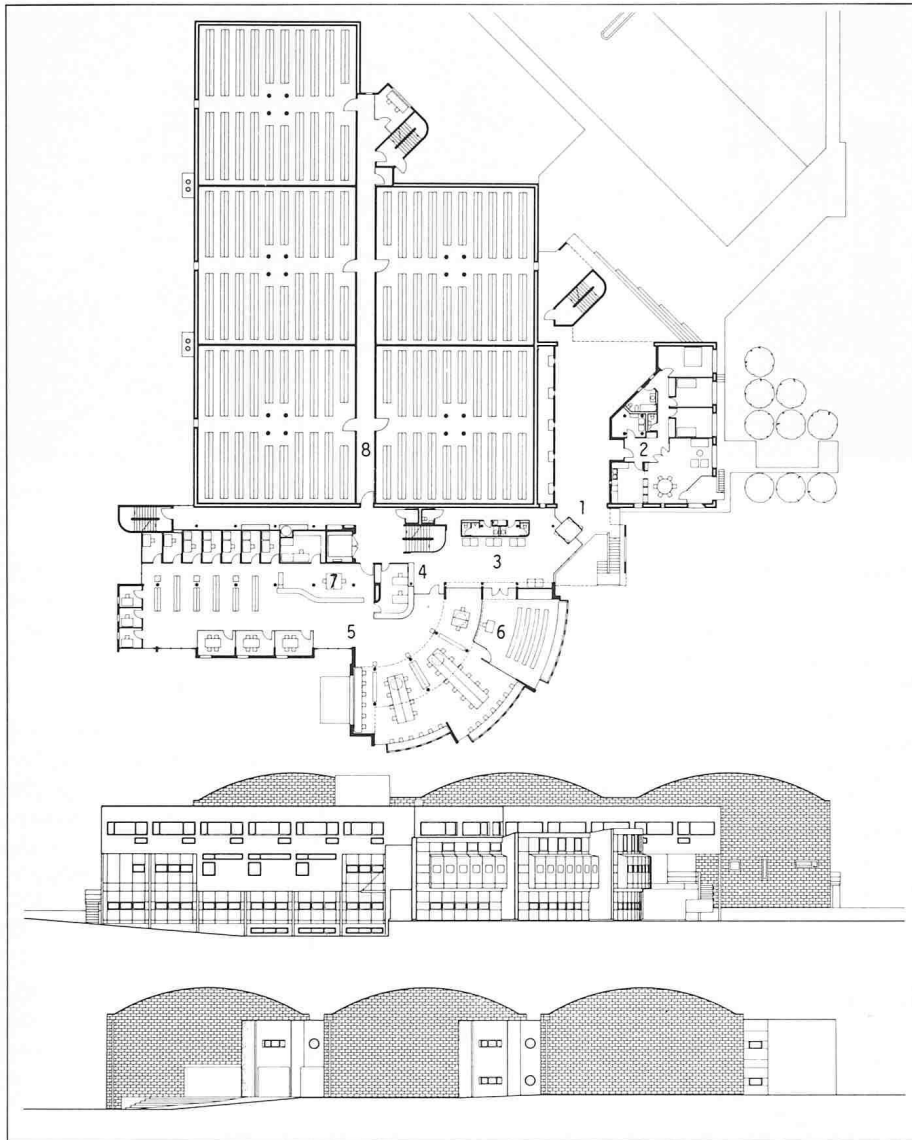


Fig. 2. Epaisseur d'isolation économiquement optimale (pour un matériau à Fr. 160.-/m<sup>3</sup> / Wirtschaftlich optimale Dicke der Isolation (Preis der Isolation: Fr. 160.-/m<sup>3</sup>)

Fig. 1. Plan du niveau de la salle de lecture et façades sud-ouest et nord-est / Plan des Lesesaal-Geschosses sowie der Südwest- und Nordost-Fassade

- pompe à chaleur: son coefficient de performance, déduction faite des auxiliaires, est de 3,50. Cet excellent coefficient est dû à un surdimensionnement (par rapport à ce qui se fait d'habitude) du condenseur et de l'évaporateur, ainsi qu'à un dimensionnement correct de l'échangeur dans les égouts et à un circuit hydraulique permettant un fonctionnement à basse température.
- capteurs solaires: environ 25% en moyenne annuelle, ce qui est normal pour ce type d'installation
- chauffe-eau: 74% pour le chauffe-eau du concierge, 49% pour le chauffe-eau de l'administration; ces chiffres très bas se retrouvent fréquemment dans la pratique et sont dus avant tout à une isolation insuffisante des chauffe-eau et des raccords, ainsi qu'à un fréquent surdimensionnement par rapport aux besoins effectifs.

#### Bilan et indices énergétiques

La Fig. 5 montre le bilan énergétique, mois par mois, du bâtiment. On constate en particulier une importante frac-

tion solaire passive pour un bâtiment dont seule une partie, la partie administrative, est munie d'éléments solaires passifs. Quant aux indices énergétiques, ils ont été calculés selon les normes, en introduisant en particulier un facteur de correction pour la température plus basse des dépôts. Nous avons distingués deux indices: l'indice de dépense d'énergie à proprement parler et l'indice d'énergie finale, qui donne une indication sur la quantité d'énergie livrée au consommateur, la différence entre les deux indices étant fournie par la pompe à chaleur et les capteurs solaires actifs (à l'exclusion des gains passifs et des gains internes). Ces indices sont les suivants:

- indice de dépense d'énergie:	
gaz:	130 MJ/m <sup>2</sup> a
électricité*:	6 MJ/m <sup>2</sup> a
total:	136 MJ/m <sup>2</sup> a

\* électricité achetée: 22 MJ/m<sup>2</sup>a  
électricité vendue: 16 MJ/m<sup>2</sup>a

- indice d'énergie finale:

chauffage:	111 MJ/m <sup>2</sup> a
électricité:	40 MJ/m <sup>2</sup> a
eau chaude:	2 MJ/m <sup>2</sup> a
total:	153 MJ/m <sup>2</sup> a

Ces indices énergétiques, bien inférieurs à ceux de la moyenne des bâtiments, ont été atteints grâce à une bonne isolation, une orientation permettant une utilisation judicieuse de l'énergie solaire passive et au rendement de ses installations techniques. Rappelons que tous les choix de base ont été faits en respectant les critères économiques fixés par le maître de l'ouvrage.

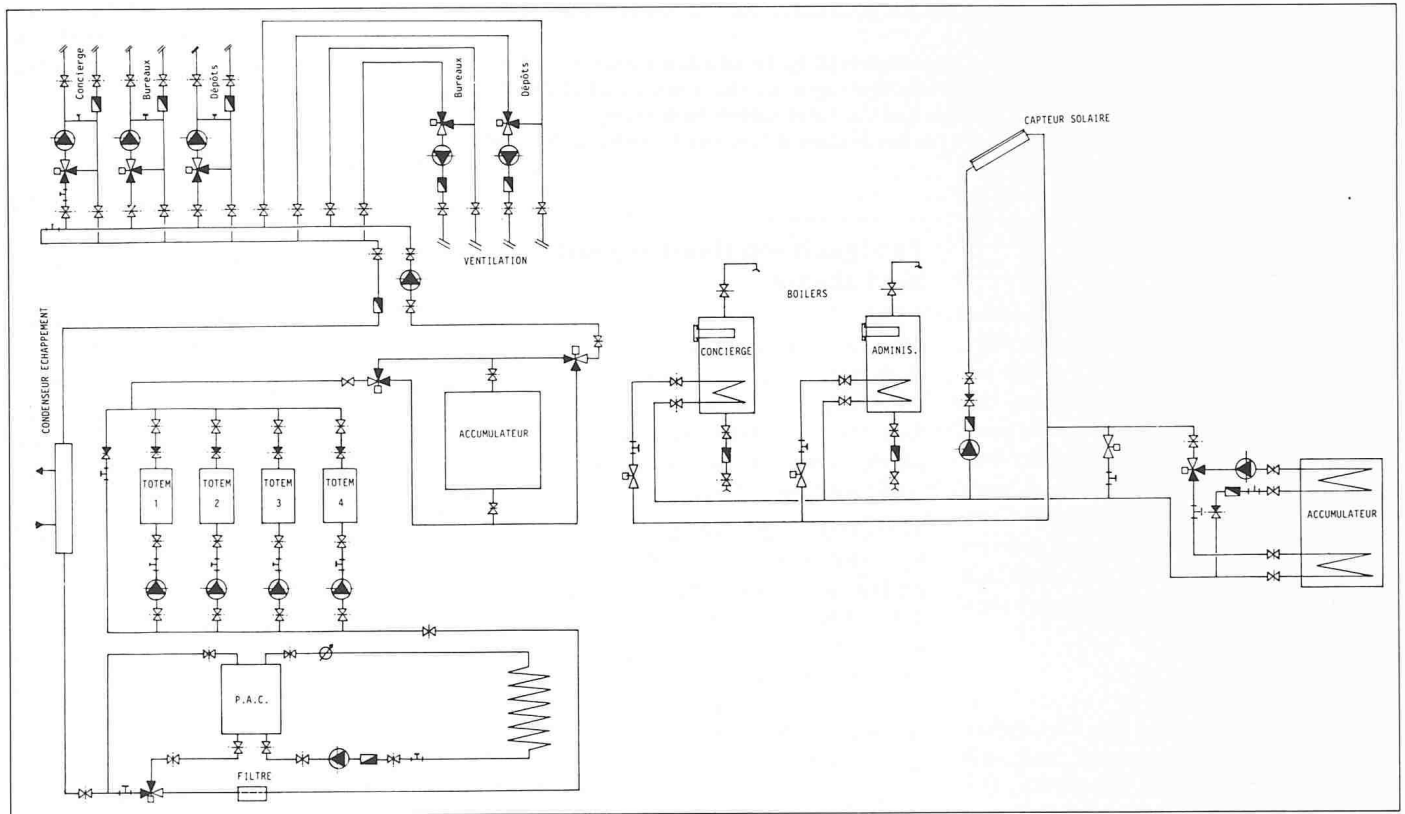
#### Conclusion

Que conclure de cet exercice, sinon que les bâtiments consommant notablement plus que le bâtiment des Archives Cantonales Vaudoises ont été conçus en négligeant les facteurs économiques et

Fig. 3. Comparaison de divers systèmes de production d'énergie / Vergleich verschiedener Wärmeerzeuger  
 - colonne 1: système considéré / Wärmeerzeuger  
 - colonne 2: consommation annuelle prévisible / Vorausschbarer Jahresenergieverbrauch  
 - colonne 3: coût sur 20 ans (investissement et frais d'exploitation, renchérissement de l'énergie: 0%) / Kosten während 20 Jahren (Investition und Betriebskosten, Energiesteuerung: 0%)  
 - colonne 4: idem, mais renchérissement 5% p.a. / dito, aber Teuerung 5% p.a.

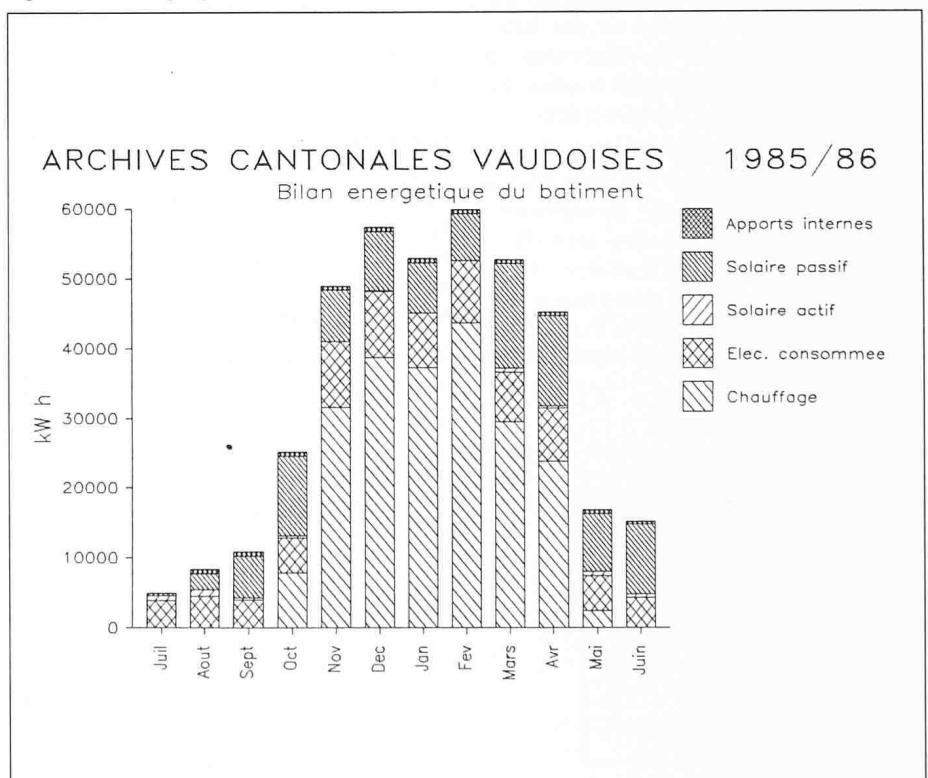
Système	Energie (MJ)	Coût + 0% (Fr.)	Coût + 5% (Fr.)
Chaudière à gaz	576 000	209 000	447 000
Pompe à chaleur à gaz	349 000	316 000	452 000
Chaleur-force	551 000	258 000	413 000
Chaleur-force + pompe à chaleur	418 000	257 000	398 000
Solaire avec stockage saisonnier	6 000	843 000	846 000

Fig. 3. Production de chaleur / Wärmeerzeugung



qu'au prix actuel de l'énergie déjà ils sont trop chers à l'exploitation? Cette remarque est avant tout valable en ce qui concerne l'isolation, qui est généralement, sinon toujours, trop faible, ainsi que l'utilisation passive de l'énergie solaire.

Fig. 4. Bilan énergétique mensuel / Monatliche Wärmebilanz



**Archives cantonales vaudoises**  
 Maître de l'ouvrage:  
 Etat de Vaud, Service des Bâtiments, place de la Riponne 10, 1000 Lausanne 17  
 Architectes:  
 Atelier Cube, Petit-Chêne 27, 1003 Lausanne  
 Ingénieurs thermiques CVS:  
 L. Keller, P. Mermier, J.R. Muller, 1171 Lavigny  
 Ingénieur électricien:  
 Betelec SA, rte de Genève 77B, 1004 Lausanne  
 Ingénieur civil: Carroz & Küng, av. de Beaulieu 43, 1004 Lausanne